

L'Aérospatiale et la recherche

Jacques Balazard

C'EST près du quart de son chiffre d'affaires que l'*Aérospatiale* consacre à la recherche et au développement. C'est là une proportion considérable qui ne se retrouve guère en dehors d'entreprises appartenant à la même branche industrielle qu'elle, et on conçoit de suite que la gestion d'une activité si importante appelle des méthodes rigoureuses et originales, sur lesquelles on va donner quelques aperçus.

LA RECHERCHE À L'AÉROSPATIALE ; POURQUOI ?

Il convient tout d'abord de rappeler quelques évidences et d'indiquer quelques ordres de grandeur. Les évidences d'abord : comme toute entreprise industrielle opérant sur un marché concurrentiel, l'*Aérospatiale* cherche à produire, pour les vendre à des conditions rémunératrices, les biens et services attendus par les clients et, bien entendu, ces produits doivent être définis avant de pouvoir être fabriqués. Or, et c'est là une des originalités du secteur aérospatial, ses produits sont si complexes, font appel à une telle diversité de techniques, qu'existe la possibilité d'une innovation continue et massive dans la conception de ces produits.

Dès lors que l'innovation est possible, la concurrence la rend nécessaire puisqu'il se trouvera toujours une entreprise pour exploiter ces possibilités afin de l'emporter sur ses concurrentes. Par conséquent, toutes les entreprises du secteur aérospatial sont contraintes, sous peine de mort, de consacrer une part importante de leur potentiel à la recherche de l'innovation. Insistons, en passant, sur le fait que c'est bien la concurrence commerciale qui impose cette innovation et donc que celle-ci ne ressortit nullement à un désir gratuit de réaliser des exploits techniques, quel qu'en puisse être par ailleurs le prix, comme on l'entend dire parfois. A ce sujet, il convient de donner quelques ordres de grandeur : la définition d'un nouveau produit, disons un nouvel avion pour fixer les idées, n'est acquise qu'au terme d'une série de travaux de conception, d'essais partiels puis globaux, au sol puis en vol, qui culminent avec la délivrance du certificat de navigabilité de type, le document officiel qui atteste que le nouvel appareil satisfait aux règles imposées à tout avion destiné à transporter des passagers (dans l'exemple que nous avons pris). Cet ensemble de travaux constitue le *développement* de l'avion (pour reprendre un terme normalisé par l'OCDE et utilisé par ses Etats membres dans leurs actes législatifs ou réglementaires).

Or, dans l'industrie aérospatiale, une opération de développement est généralement très longue et très coûteuse : plusieurs années et plusieurs milliards de francs. Il convient de s'arrêter sur ces caractéristiques de l'industrie aérospatiale et d'en tirer les conséquences.

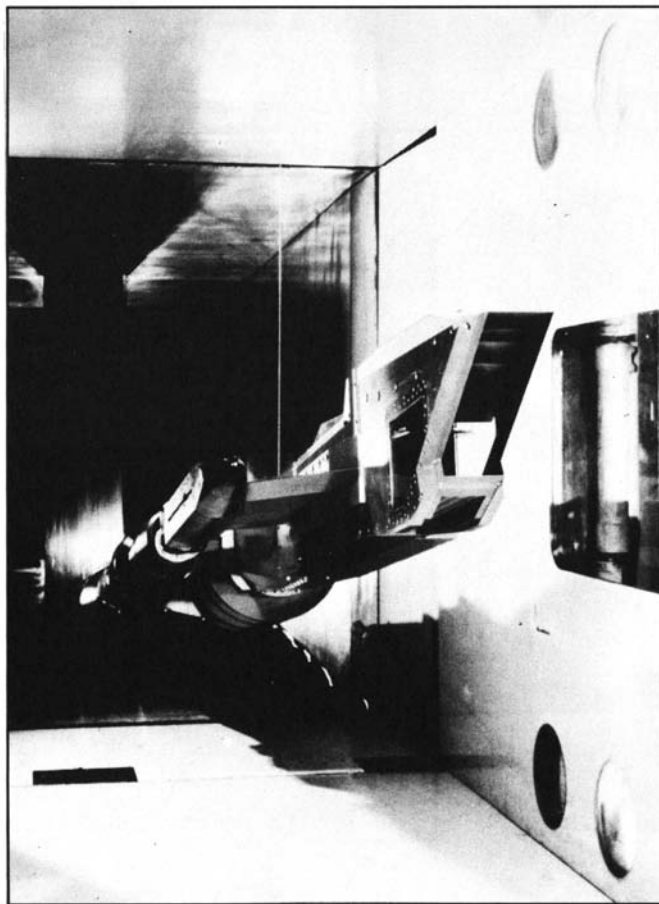
En effet, lancer une opération de développement dans le secteur aérospatial, c'est donc engager des moyens considérables dans une entreprise dont le succès ou l'échec ne se constatera qu'à long terme, en fait plusieurs années après la fin du développement. On conçoit donc que les meilleures précautions doivent être prises pour limiter les risques attachés à une telle entreprise, mais on se heurte là à un dilemme : n'avoir recours qu'à des technologies éprouvées constitue, certes, un bon moyen de limiter ces risques mais, du même coup, on ne concevrait qu'un produit sans attrait commercial puisqu'il n'offrirait pas les avantages qu'un concurrent plus audacieux aura tirés de l'usage de technologies plus avancées.

Inversement, le recours à ces technologies les plus modernes et donc moins maîtrisées accroît les risques d'échec et l'on sait d'expérience à quels désastres peuvent conduire des ambitions techniques non fondées sur une maîtrise réelle des technologies mises en œuvre.

De la nécessité de sortir de ce dilemme naît le besoin d'une activité, en amont des opérations de développement, dont l'objet sera précisément d'acquérir les connaissances et la maîtrise des technologies nouvelles qui rendront l'industriel capable de lancer des développements de produits réellement novateurs sans courir de risques inacceptables. Il s'agit donc là bien d'activités de *recherche* (toujours au sens que l'OCDE attribue à ce terme) et c'est à ce type d'activités que va être consacré ce qui suit, dans le contexte spécifique de l'*Aérospatiale*.

CARACTÉRISTIQUES DE LA RECHERCHE AÉROSPATIALE

Il n'est pas inutile d'insister sur les caractéristiques de la recherche industrielle qui résultent de l'analyse qui précède. Tout d'abord, cette recherche se rattache de façon ultime à des objectifs commerciaux ; c'est dire qu'elle doit impérativement prendre en considération les aspects économiques de l'exploitation ultérieure de ses résultats éventuels. Il ne servirait à rien, par exemple, de développer un nouveau matériau aux propriétés physiques



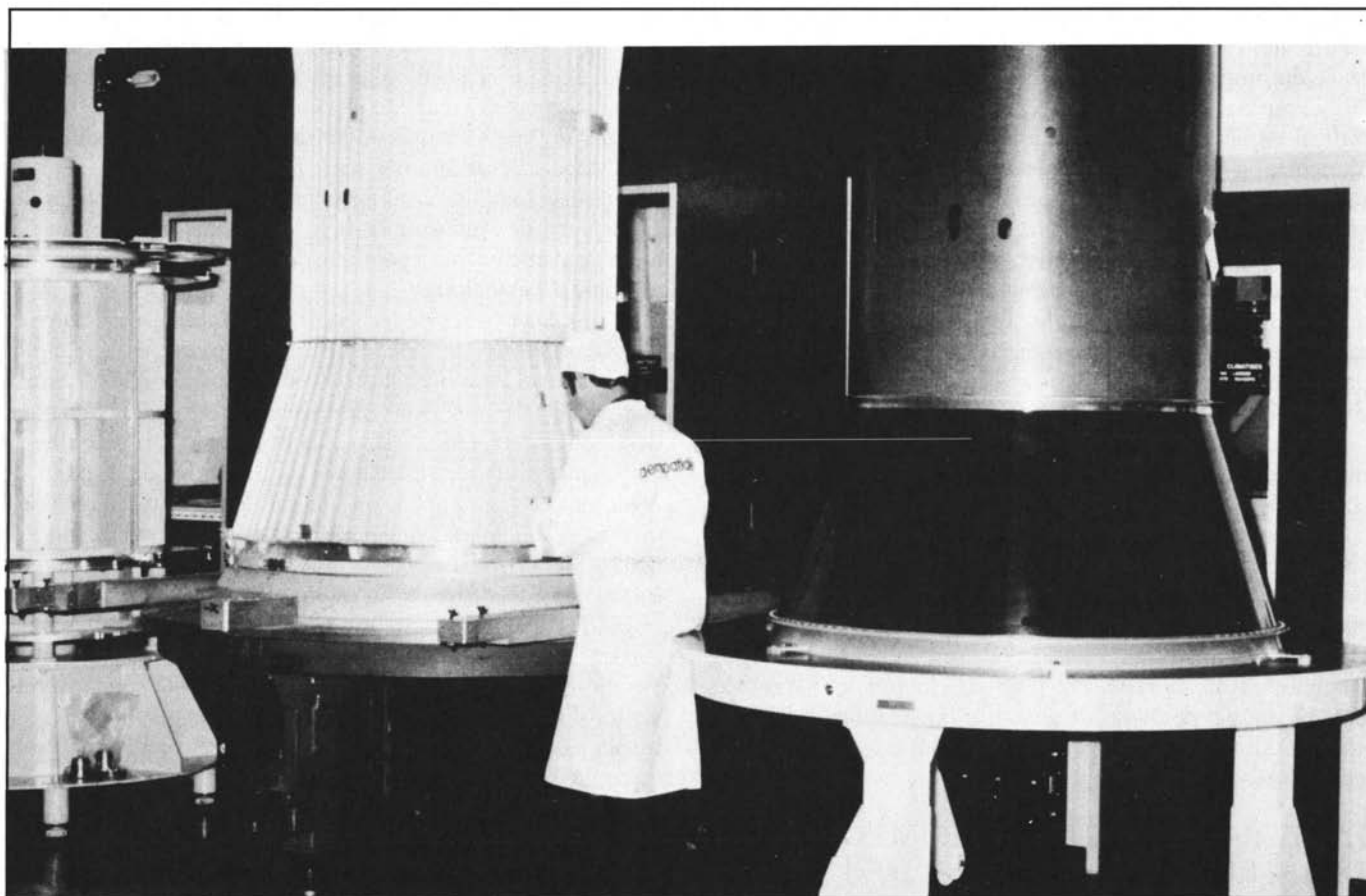
remarquables si son coût ou ses coûts de mise en œuvre en interdisaient l'utilisation pratique. Inversement, la réduction des coûts de conception ou de fabrication constitue un objectif de recherche en soi, même si le produit ainsi conçu ou fabriqué conserve les mêmes performances techniques.

L'objectif assigné à la recherche de préparer les futurs développements, par l'acquisition des connaissances, méthodes et technologies nouvelles nécessaires, conduit à une seconde caractéristique importante de cette recherche : la cohérence de ces objectifs avec les grandes options stratégiques retenues par l'entreprise. En fait, celles-ci doivent se refléter dans le programme de recherche qui, idéalement au moins, doit pouvoir se lire à quatre niveaux successifs :

- les grands types d'applications futures des recherches à entreprendre,
- les domaines scientifiques et techniques, reliés à ces applications, dans lesquels les recherches sont à entreprendre,
- les problèmes précis à résoudre dans ces divers domaines scientifiques et techniques,
- les voies et moyens proposés pour résoudre ces problèmes.

Qu'on ne se méprenne pas sur ce qui précède en confondant la structure du programme de recherche avec sa genèse : bien évidemment, ce programme n'est pas construit à partir de directives fixées par les dirigeants de l'entreprise pour aboutir, par une série de décisions en descendant la pyramide hiérarchique, à la conclusion par exemple que c'est la méthode des éléments finis qu'il faut choisir pour pouvoir prédire la limite de

Maquette de l'Aérospatiale, essayée dans une soufflerie de l'ONERA. La mise au point des entrées d'air des statoréacteurs des missiles aérobies demande des essais complexes en souffleries.



flottement des voilures d'aéronefs en régime transsonique.

Bien au contraire, c'est à chacun — et en particulier aux spécialistes — de prendre l'initiative de proposer des axes de recherche, à charge pour les responsables, aux niveaux qui sont les leurs, d'assurer la cohérence de l'ensemble selon la grille qui a été indiquée ci-dessus.

Les considérations qui précèdent ont un caractère très général et il est temps de les illustrer par une description (nécessairement sommaire) des pratiques de l'*Aérospatiale*.

L'ORGANISATION DE LA RECHERCHE

Il convient à cet effet de rappeler que l'*Aérospatiale* est une société dont le chiffre d'affaires annuel tourne autour de 25 milliards de francs et qui regroupe environ 35 000 personnes. Celles-ci sont réparties en *quatre divisions* qui traitent respectivement d'*avions*, d'*hélicoptères*, d'*engins tactiques* et de *systèmes stratégiques et spatiaux*.

Compte tenu de la taille de la société et de la diversité de ses activités, sa gestion est très décentralisée et ceci reste vrai, en particulier, de sa recherche.

Par conséquent, c'est aux divisions que revient la charge de définir leur programme de recherche et d'en assurer l'exécution, la direction générale ayant pour mission d'en assurer la cohérence globale. Ceci mérite quelques commentaires.

Le premier niveau de cohérence d'un tel programme se situe évidemment dans l'adéquation des actions envisagées à la stratégie de produits de la division, puisque, comme on l'a vu plus haut, la recherche envisagée a pour objet de préparer les développements ultérieurs. S'il revient à la direction générale de définir cette stratégie et d'en contrôler l'application, il est clair que l'initiative des services les mieux avertis des évolutions du

marché et de la technique joue un rôle primordial en la matière. C'est ici le lieu de noter que si, au plan de la gestion, on distingue clairement la recherche du développement, ce sont généralement les mêmes équipes qui sont chargées des activités des deux types. Autrement dit, il n'y a pas, sauf exception, d'équipes se consacrant exclusivement à la recherche.

Un exemple fera mieux saisir le deuxième niveau de cohérence recherché : si divers que soient les produits de l'*Aérospatiale*, il existe cependant beaucoup de technologies communes à deux ou plusieurs divisions.

C'est par exemple le cas des matériaux composites que l'on utilise tant sur les avions que sur les missiles tactiques, tant sur les hélicoptères que sur les satellites. Or, même si les applications ultimes de ces matériaux sont très différentes, il apparaît en amont des besoins de recherches communs, qui appellent donc une coordination à l'échelle de la société. Cette coordination qui constitue une des missions de la direction centrale technique de la direction générale peut revêtir diverses formes selon les cas : organisation de la simple circulation de l'information, élaboration d'un programme unique pour la société dont la réalisation sera confiée aux divisions ou à des équipes relevant de la direction générale ou encore aux deux. On reviendra, du reste, plus loin, sur ce point.

Enfin, il est clair que le programme des recherches de la société se doit d'être compatible avec les ressources que la société pourra y consacrer, notamment en ce qui concerne ses fonds propres. C'est évidemment une des prérogatives de la direction générale de fixer, compte tenu de la situation d'ensemble de

Deux versions du tube central du satellite INTELSTAT : le passage de la version métallique (à gauche) à la version composite (à droite) a permis, outre une réduction considérable du coût, un allègement notable.

l'entreprise, le montant budgétaire finalement acceptable pour les activités de recherche. C'est là le troisième niveau de cohérence du programme de recherche de l'entreprise.

Pour en terminer avec la gestion de recherche à l'*Aérospatiale*, il est nécessaire de dire un mot du C.O.R.E., le Comité d'orientation des recherches et études. Ce comité qui regroupe, sous la présidence du directeur général adjoint chargé des affaires techniques et industrielles, les directeurs des divisions et les directeurs centraux intéressés à un titre ou à un autre par les affaires de recherche, supervise la préparation et l'exécution du programme de recherche de l'*Aérospatiale*. Trois réunions marquent les temps forts sur son action : les objets des deux premières ne sont pas inattendus puisque la réunion d'automne est consacrée à la préparation du programme de recherche (et du budget correspondant) de l'année suivante et que la réunion d'hiver a pour objet l'examen des résultats obtenus au cours de l'exercice écoulé. Plus originale est la réunion de printemps qui est réservée à l'examen d'un problème stratégique pour la politique de recherche de l'entreprise. Le thème choisi peut correspondre à un domaine technique (l'aérodynamique, le logiciel, par exemple) ou présenter un caractère « horizontal » (la coopération avec les organismes extérieurs de recherche, par exemple). Les réunions de ce type sont préparées longtemps à l'avance, notamment par des notes de travail, et donnent lieu à débats et échanges de vues et finalement à des conclusions sur les orientations à prendre.

L'ENVIRONNEMENT EXTÉRIEUR DE LA RECHERCHE : POUVOIRS PUBLICS ET ORGANISMES DE RECHERCHE

Dans tout ce qui précède, on a décrit l'*Aérospatiale* de l'intérieur et le monde extérieur n'y apparaissait que sous la forme de la concurrence. Bien entendu, l'environnement de la société ne se réduit pas à ses rivaux et il convient maintenant, toujours du point de vue de la recherche, d'examiner les relations de l'*Aérospatiale*, avec les pouvoirs publics, les organismes de recherche et ses coopérants industriels.

Dans tous les Etats, la puissance publique intervient très directement dans le secteur aérospace, soit en raison du rôle particulier que joue ce secteur dans les affaires de défense, soit parce que, plus généralement, son caractère d'industrie de pointe lui confère une place spéciale dans la puissance économique de la nation comme moteur, garantie et symbole d'une activité scientifique et technique de la meilleure qualité. C'est notamment le cas aux Etats-Unis, dont l'industrie aérospace est bien évidemment le concurrent le plus redoutable des sociétés européennes opérant dans le même secteur, concurrent qui bénéficie de soutiens publics bien supérieurs à ceux qui sont accordés à leurs homologues européens.

Il est important de souligner ce point car on entend parfois critiquer le montant des efforts faits par les pouvoirs publics de notre pays, en faveur de la recherche aérospace en lui opposant les montants plus faibles affectés à la recherche dans d'autres branches de l'industrie. Or, outre le fait que ces soutiens n'atteignent pas l'ampleur qu'on leur attribue souvent (la part des fonds propres de l'*Aérospatiale* est majoritaire dans l'ensemble des ressources finançant ses recherches), il faut répéter qu'en la matière, le véritable point de comparaison se situe outre-Atlantique et non pas dans telle ou telle autre branche industrielle française avec laquelle l'*Aérospatiale* n'est nullement en compétition.

Les relations avec les pouvoirs publics français en matière de recherche aérospace sont donc très étroites et on doit, à cet

égard, souligner le poids des orientations nationales sur les programmes de recherche de l'industrie aérospace. Inversement, celle-ci est amenée à faire valoir ses vues, fondées notamment sur sa connaissance des marchés, des conditions pratiques de réalisation des matériels aérospaciaux et de l'évolution des techniques. Ce dialogue avec le ministère de la Défense, tuteur de l'industrie aérospace française, mais aussi avec les ministères chargés des Transports, de l'Industrie et de la Recherche, constitue un élément fondamental de la politique de recherche d'une entreprise telle que l'*Aérospatiale*.

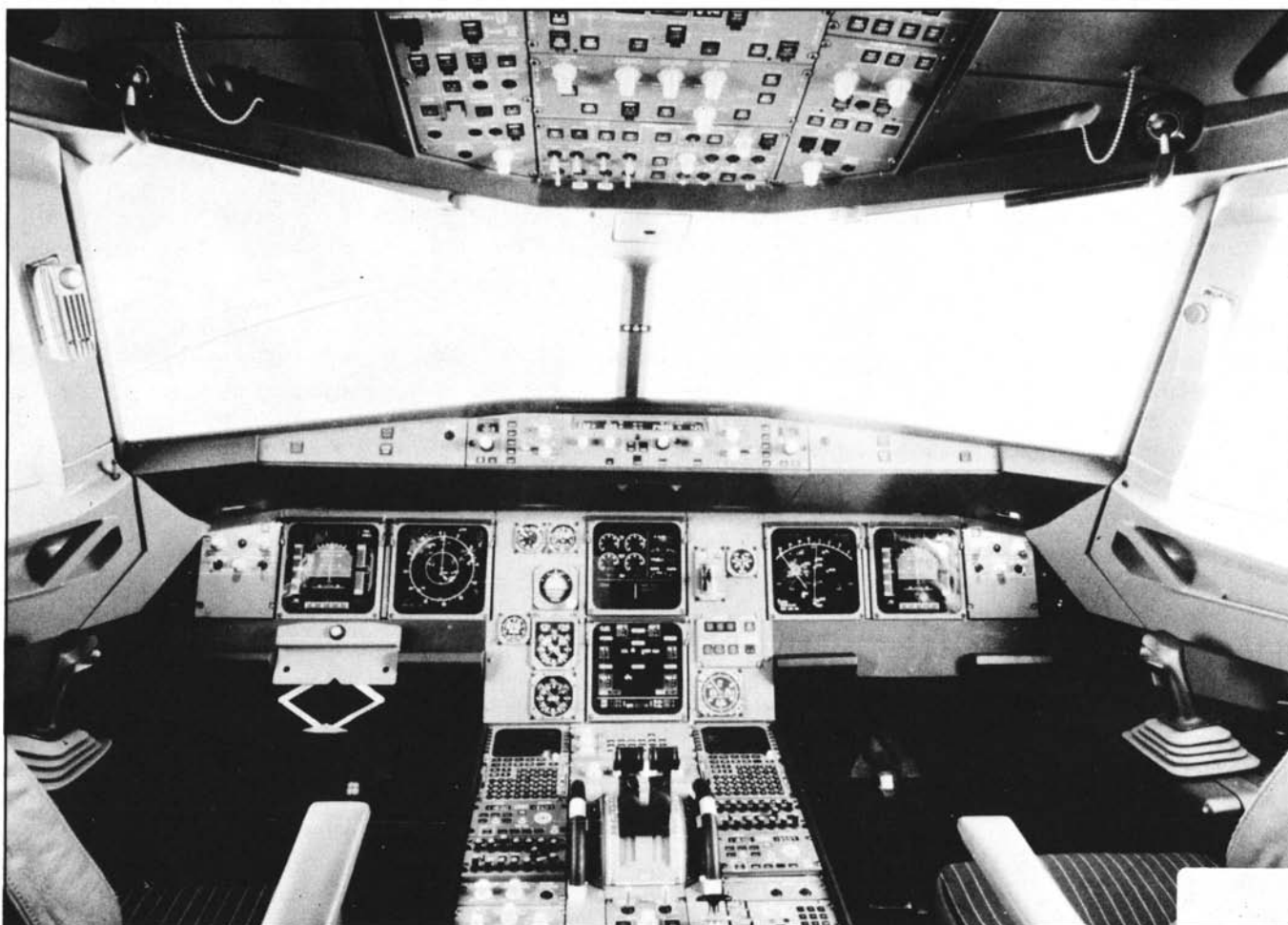
Les organismes de recherche sont d'autres interlocuteurs de l'*Aérospatiale* dont celle-ci ne saurait se passer, et ce pour plusieurs raisons. Pour bien illustrer cette coopération nécessaire, il faut se rappeler que pour diminuer les risques inhérents aux développements, réduire les coûts et délais associés aux essais empiriques, il n'est de meilleures solutions que de disposer de méthodes fiables de prévisions du comportement des matériels qu'il s'agit de concevoir. Ces méthodes ne peuvent être fondées que sur une compréhension proprement scientifique des phénomènes physiques en jeu et sur une modélisation théorique appropriée. Le chercheur de l'industrie a donc, à l'évidence, besoin de la contribution des équipes universitaires, par exemple, dont la vocation est précisément la création de nouvelles connaissances sur les phénomènes de base, l'établissement de lois physiques élémentaires, leur mise en forme théorique, les méthodes mathématiques de traitement des nouveaux concepts ainsi créés, etc.

On peut estimer que si l'industrie a le devoir de dégager de ses préoccupations les problèmes proprement scientifiques dont la solution permettra de progresser au plan pratique, elle attend en retour de la communauté scientifique que celle-ci prenne en considération ces problèmes, de préférence à d'autres, qui sans même souvent offrir un attrait intellectuel supérieur, ne débouchent sur aucune perspective d'application.

On ne peut que souhaiter un accroissement des actions de ce type qui jouent déjà un rôle important dans la conduite de la recherche à l'*Aérospatiale* (plusieurs dizaines d'opérations, menées conjointement par l'*Aérospatiale* et des organismes de recherche se déroulent chaque année).

Ce type d'actions, orientées vers la solution des problèmes rencontrés par l'*Aérospatiale*, n'épuise cependant pas tout ce que cette société peut retirer des organismes publics de recherche. Une entreprise comme l'*Aérospatiale* attend, de fait, beaucoup de la recherche fondamentale, c'est-à-dire des travaux entrepris pour accroître nos connaissances sans avoir en vue une application spécifique. En effet, et pour prendre un exemple, si on ne voit pas comment le souci industriel d'améliorer le comportement en fatigue des pales d'hélicoptère aurait pu conduire à l'invention du laser, un industriel bien informé des derniers développements dans ce domaine a pu mettre à profit ceux-ci pour utiliser l'holographie laser aux fins de contrôle des pales en matériaux composites. Par cet exemple, on veut suggérer que si, du point de vue de l'industrie, il convient de préserver un secteur de recherche fondamentale vigoureux (il y a bien entendu d'autres raisons d'agir ainsi), il est nécessaire d'assurer une bonne information de l'industrie sur les progrès accomplis afin que puissent être étudiées les possibilités d'applications nouvelles ainsi offertes par les résultats que la seule curiosité scientifique a permis d'atteindre.

Progrès des connaissances dans les problèmes rencontrés par l'industrie, progrès des connaissances ouvrant à l'industrie de nouvelles perspectives d'applications, voilà ce qui est attendu de la communauté scientifique. En revanche, on ne saurait trop lui déconseiller de s'engager dans la recherche directement appli-



quée pour ne pas parler de développement. En effet, un travail de recherche industrielle, donc appliquée, doit prendre en compte les aspects économiques comme indissolublement liés aux aspects proprement techniques et bien certainement c'est l'industrie qui est la mieux placée pour effectuer cette synthèse.

C'est selon ces grandes orientations que se développe la politique d'ouverture de l'*Aérospatiale* sur le monde de la recherche publique : accord général de coopération avec le *CNRS*, financement de thèses dans l'*Université*, projets conjoints soumis aux pouvoirs publics, accueil de boursiers *CIFRE*, autant de formes diverses de cette volonté de coopération.

Il convient de réserver une mention spéciale, qu'on ne manquera pas de trouver bien naturelle, à l'*Office national de recherches aérospatiales*, l'*ONERA*. En vérité, la chose ne va pas tant de soi qu'il y paraît.

Il n'est pas rare, en effet, d'entendre, dans les secteurs autres que le secteur aérospatial, des industriels reprocher à des grands organismes publics de recherche soit de se complaire dans des travaux sans perspectives d'aboutissement pratique, soit, au contraire, de développer des produits qu'ils ne sont nullement en mesure de mener jusqu'à un stade réellement industriel. Or, on doit considérer que l'*ONERA* a su, de façon exemplaire, éviter ces écueils et constitue une réussite dont l'industrie aérospatiale française doit se féliciter. Effectuant une recherche de haut niveau, dont l'aboutissement, pour se situer parfois à long terme, n'est pour autant jamais dissocié des perspectives industrielles de l'avenir, l'office fournit un travail scientifique indispensable à la capacité technique de l'industrie aérospatiale française. La clé de

cette réussite est la conjonction d'une claire perception par les partenaires de leurs rôles respectifs et d'une volonté de coopération se traduisant par une concertation permanente à tous les niveaux : représentation de l'industrie dans les divers comités et conseils d'administration, bien sûr, mais aussi contacts directs et fréquents entre chercheurs de l'office et de l'industrie.

LA COOPÉRATION AVEC D'AUTRES INDUSTRIES

Enfin, la coopération en matière de recherche s'étend aussi à d'autres industriels. C'est tout d'abord le cas avec les entreprises participant aux grands programmes auxquels est associée l'*Aérospatiale* : équipementiers, élaborateurs de matériaux, etc. Pour s'arrêter sur ce dernier exemple, on peut noter que, le plus souvent, il existe des programmes de recherche communs avec ceux qui deviendront les fournisseurs de l'*Aérospatiale*, cette dernière précisant ses spécifications et le résultat de ses évaluations des propriétés d'emploi des matériaux aux fournisseurs qui disposent ainsi d'éléments précieux pour mettre au point les nouveaux procédés d'élaboration devant conduire à des produits utilisables pour l'industrie aérospatiale.

Des collaborations d'un autre type peuvent se nouer avec des entreprises dont les besoins, sans rapport au plan des produits avec le secteur aérospatial, se rapprochent des préoccupa-

Poste de pilotage de l'Airbus A 320, montrant la disparition des cadrans électromécaniques du tableau de bord et du manche central au profit d'affichages cathodiques et de petits manches latéraux.

tions de celui-ci pour ce qui est du développement de certains outils de conception ou de fabrication. C'est actuellement le cas de l'industrie automobile, dans le secteur de la conception et fabrication assistée par ordinateur (CFAO) où une collaboration se dessine pour mettre au point de nouvelles méthodes de communication entre systèmes de CFAO hétérogènes, par l'élaboration d'un standard d'échange et de transfert.

Ces types de collaboration entre entreprises ne sont probablement pas très spécifiques du secteur aérospatial, alors que la coopération européenne dont on va dire maintenant quelques mots est probablement beaucoup moins répandue dans les autres branches industrielles, et constitue donc un trait distinctif du secteur aérospatial. En effet, face à l'hégémonie exercée par l'industrie américaine, il est vite apparu pour certains programmes que l'union des industries aérospatiales européennes était un objectif souhaitable. Tant pour réduire les coûts de développement que pour accroître le marché des produits développés se sont donc nouées des alliances, généralement autour de grands programmes. *Airbus*, *Ariane* sont bien connus et ont été au principe d'une coopération qu'on pourrait presque qualifier d'institutionnelle, entre les principales sociétés européennes du secteur aérospatial. Actuellement, ce mouvement de coopération tend à s'étendre à la recherche, ce qui témoigne d'un engagement plus profond des partenaires. En effet, si l'attrait d'un programme défini peut suffire à faire naître une alliance limitée dans son objet dans le temps, la coopération en matière de recherche, à partir d'un certain seuil, engage bien plus l'avenir car il s'agit, dès lors, de partager ce qui est au cœur de la valeur des entreprises, c'est-à-dire leur savoir-faire et leur maîtrise technologique.

C'est évidemment là que réside le principal frein à une coopération plus large en matière de recherche entre industriels européens. L'avenir dira si la conscience de la menace que constitue le formidable potentiel technologique des Etats-Unis, et si les actions concertées des gouvernements européens concernés pourront surmonter cet obstacle. Quoi qu'il en soit, d'ores et déjà, la coopération européenne constitue un des traits caractéristiques de la politique de recherche de la plupart des sociétés européennes du secteur aérospatial, et, en tout cas, un élément distinctif de l'*Aérospatiale*. On a pu en avoir la démonstration au moment du lancement du programme *Eurêka* : très rapidement, l'*Aérospatiale* a été en mesure de conclure un accord général de coopération avec les *Sociétés Aeritalia*, *British Aerospace*, *Casa* et *MBB*, ses partenaires des programmes *Airbus* et *ATR 42*, accord général suivi rapidement de l'élaboration de projets concrets auxquels les ministres, à l'occasion de leurs conférences semestrielles consacrées à *Eurêka*, ont décidé d'apporter leur soutien.

LES GRANDS AXES DE LA RECHERCHE

Le lecteur qui aura eu la patience de persévérer jusqu'à ce point de l'exposé aura peut-être été désappointé devant la rareté des informations proprement scientifiques et techniques.

Aussi allons-nous donner quelques indications sur ce sujet. Tout d'abord, il convient de souligner l'ampleur du domaine couvert : de la chimie à l'électronique, de l'ergonomie aux mathématiques, de la science des matériaux au génie logiciel, il n'est guère de domaines scientifiques ou techniques qui n'intéressent, à un titre ou à un autre, l'*Aérospatiale*. Il serait donc très difficile de donner une idée précise du contenu technique du programme de recherche de l'*Aérospatiale*, même si les règles de discrétion bien naturelles qui limitent sa divulgation étaient totalement levées.

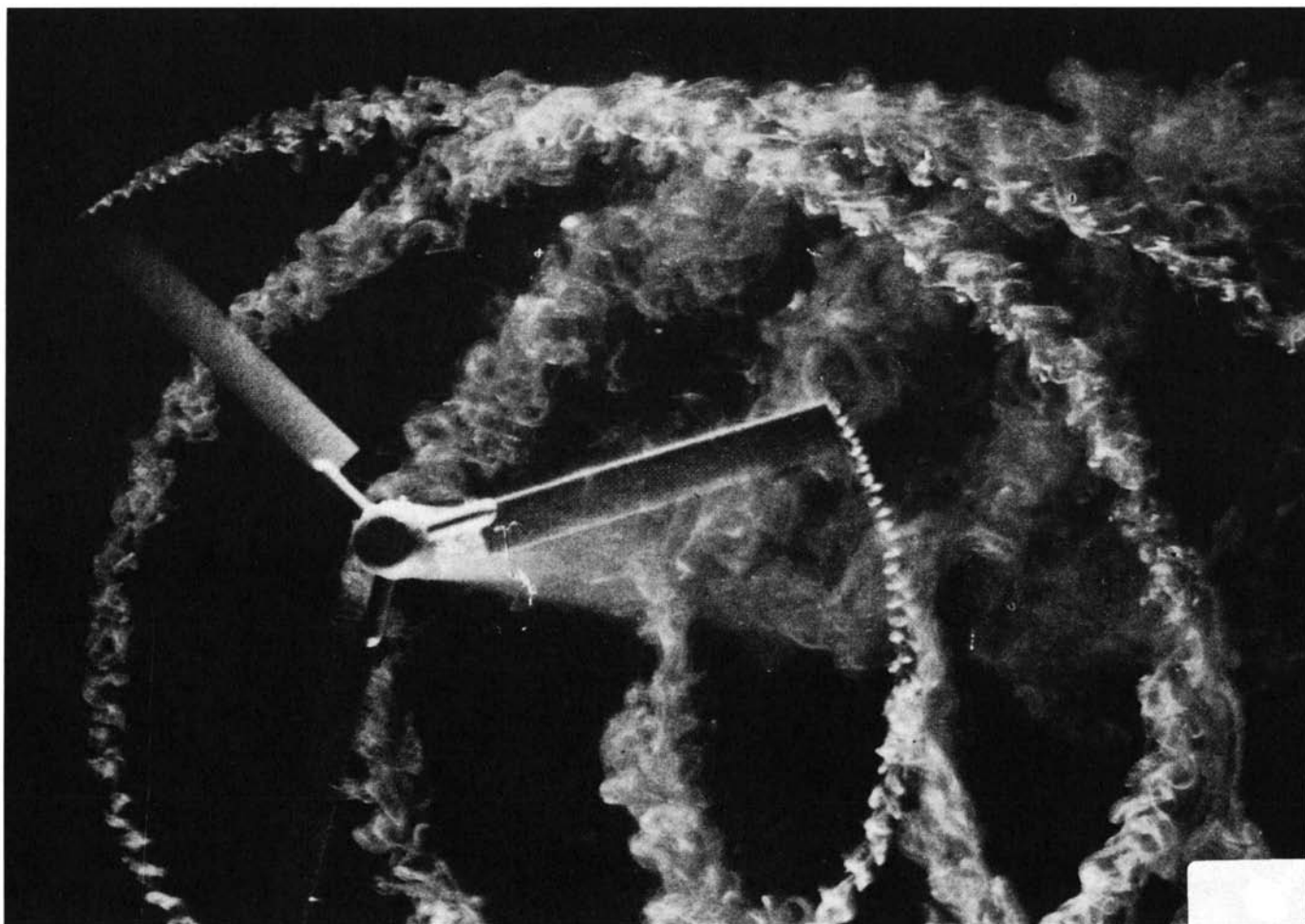
On peut toutefois en esquisser les principales composantes et surtout donner quelques indications sur les tendances fortes qui conditionnent ses évolutions.

De façon générale, tout produit de l'industrie aérospatiale fait intervenir, peu ou prou, l'aérodynamique, la science des structures et des matériaux, les équipements et la propulsion. Examinons donc tout d'abord l'activité de l'*Aérospatiale* dans ces deux derniers domaines. L'*Aérospatiale* conçoit et réalise des propulseurs d'engins ; en particulier, elle occupe une position de motoriste de premier plan dans certains domaines comme, par exemple, la propulsion par statoréacteur. En revanche, elle ne produit pas de moteurs d'avions et peu d'équipements proprement dits. Elle accorde, cependant, une large place à ceux-ci dans ses préoccupations de recherche car il lui revient d'assurer l'architecture d'ensemble des produits dont équipements et propulseurs sont des constituants.

A cet égard, il faut souligner la nouveauté que représente le développement du concept de système et ses conséquences sur les programmes de recherche aérospatiaux. Ceci mérite quelques explications : de nos jours, on ne peut plus considérer un avion, par exemple, comme l'association de composants conçus presque indépendamment les uns des autres comme c'était le cas dans le passé. Par exemple, le concept de contrôle actif généralisé implique que l'architecture même de la cellule soit conditionnée par le mode de contrôle de l'avion, lui-même dépendant du système de capteurs, de traitement de l'information qu'ils fournissent, d'élaboration des ordres qui en découlent et d'exécution de ces ordres. Réciproquement, les caractéristiques de ces équipements et organes sont conditionnées par celles de l'ensemble dans lequel ils s'intégreront. Autrement dit, la conception du système d'ensemble détermine la structure de ses constituants élémentaires et la conception de ceux-ci conditionne en retour l'architecture de celui-là. C'est cet aspect nouveau du métier de concepteur que doit maîtriser un industriel tel que l'*Aérospatiale* pour être en mesure de continuer à jouer le rôle de maître d'œuvre qui est sa vocation. Ceci implique que le maître d'œuvre doit bien connaître les technologies utilisables dans les systèmes qu'il conçoit, puisse les évaluer, déterminer les spécifications fonctionnelles des constituants de ces systèmes et acquérir la maîtrise nécessaire à leur intégration dans un ensemble au bon fonctionnement duquel chaque composant contribue en synergie avec les autres composants.

C'est à la lumière de ces exigences nouvelles que l'on doit noter l'importance croissante du logiciel pour les activités aérospatiales. En effet, d'une part, beaucoup des fonctions qui étaient naguère assurées par des dispositifs matériels sont désormais remplies par des logiciels (c'est ce qui se produit dans le domaine inertiel par exemple, par le passage à la technologie des gyromètres à éléments liés) et, d'autre part, le bon fonctionnement de l'ensemble du système repose lui-même sur des logiciels. Pour fixer les idées, on peut indiquer que la taille de ces logiciels atteint maintenant plusieurs centaines de milliers d'instructions à bord d'un avion moderne. Compte tenu des impératifs de performances et de sécurité qui caractérisent l'industrie aérospatiale, on conçoit, sans peine, l'ampleur du problème que représentent la spécification, la production et le contrôle de la qualité de ces logiciels, problèmes dont la solution fait elle-même appel à d'autres logiciels, outils de conception et de réalisation, cette fois, et non plus logiciels opérationnels. C'est dire toute l'importance qu'a prise le génie logiciel pour l'industrie aérospatiale et corrélativement l'effort de recherche que celle-ci doit déployer dans ce secteur.

Si le logiciel constitue un bon exemple des nouveaux



domaines scientifiques que doit aborder la recherche aérospatiale, il n'est certes pas le seul et on aurait aussi pu citer les problèmes relatifs à l'acquisition, la création, la transmission et le traitement des images, qui constitue également un nouvel ensemble de techniques qui pénètrent aussi bien l'aviation civile (avec les nouveaux postes de pilotage à affichage cathodique aujourd'hui, peut-être à cristaux liquides demain) que les satellites (avec les missions d'observations) par exemple.

Si l'on revient maintenant à la liste des grands thèmes techniques et scientifiques qui intéressent la recherche aérospatiale, on y trouvera des disciplines plus anciennes mais qui n'en sont pas moins le lieu de plusieurs innovations marquantes. On ne peut trouver meilleur exemple que celui des matériaux de structure : il est notoire que c'est l'industrie aérospatiale qui a, la première, fait un usage industriel des matériaux composites associant une résine organique et des fibres (aramides, de carbone ou de verre). Ces matériaux, dont l'usage va croissant, font toujours l'objet de recherches intensives portant notamment sur la compréhension des lois reliant leurs constitutions physico-chimiques à leurs propriétés d'emploi (afin de pouvoir déterminer la nature du matériau en fonction de ce qu'on attend), les procédés de mise en œuvre (afin d'améliorer ceux que l'on utilise et pouvoir réaliser de nouveaux types de pièces), les composites de types nouveaux (thermoplastiques de hautes qualités, matériaux à matrice métallique par exemple).

Quelle que soit l'importance de ces matériaux pour l'industrie aérospatiale, il ne faudrait pas croire qu'ils concentrent toute l'activité de recherche sur eux ; en fait, une part importante de celle-ci est consacrée aux matériaux métalliques, titane et nou-

veaux alliages d'aluminium par exemple qui, pour être d'un emploi plus ancien, connaissent des évolutions très marquantes (cf. aluminium lithium) qui, tout compte fait, rendent peu pertinente la distinction, parfois faite, entre les « matériaux nouveaux » et les autres.

Les structures et l'aérodynamique (conception, calculs, essais) ont, depuis la naissance de l'aéronautique, formé le lieu privilégié de l'innovation pour des raisons qu'on serait tenté de qualifier de quasi ontologiques (un ingénieur dirait plus rapidement « par définition »). Si aujourd'hui, on l'a vu plus haut, d'autres activités ont pris de l'importance, il est clair qu'elles n'ont pas supplanté ces disciplines plus anciennes que sont l'aérodynamique et les structures, qui conservent toute leur valeur et constituent toujours un domaine d'intérêt vital pour les technologies aérospatiales. Les structures et l'aérodynamique, au plan théorique, sont le royaume des grands systèmes d'équations aux dérivées partielles de la mécanique des milieux continus et l'apparition des calculateurs modernes, notamment les calculateurs parallèles, a conduit à un fort accroissement de la puissance des méthodes industrielles de prévision et de conception, avec les conséquences bénéfiques que cela entraîne sur l'amélioration des performances des systèmes ainsi conçus, sur la réduction des délais et coûts de conception par la substitution de calculs aux essais empiriques qui auraient été nécessaires pour atteindre le même résultat. Pour illustrer ces progrès et les tendances actuelles, on peut espérer que le temps n'est plus très éloigné où les

Le champ aérodynamique autour d'un rotor hélicoptère est particulièrement complexe. Son étude requiert les moyens de calcul et d'essais les plus avancés.

méthodes de résolution des équations complètes de Navier-Stokes commenceront à sortir du domaine de la recherche pour donner lieu à des applications industrielles.

Ce dernier exemple a été tiré de la mécanique des fluides, mais on peut attribuer à la conception des structures les formidables développements de la conception assistée par ordinateur (CAO). Il y a un peu moins de vingt ans que cette nouvelle discipline, très largement, pour ne pas dire exclusivement, stimulée par les besoins de l'industrie aérospatiale, est apparue. Orientée initialement vers la création des formes extérieures des aéronefs, cet outil a démontré rapidement une telle puissance que son champ d'application s'est étendu non seulement à la conception et au dessin de toutes sortes de pièces, mais aussi à bien d'autres activités : câblages électriques, circuits électroniques, répartition d'objets divers (équipements par exemple) dans une enceinte donnée, etc.

En reliant ces outils logiciels à d'autres logiciels (de calcul de résistance des structures ou de performances aérodynamiques, ou de gammes de fabrication) on voit progressivement se dessiner un ensemble de méthodes informatisées où l'homme sera graduellement déchargé des tâches répétitives (ou de mémorisation) pour pouvoir se consacrer principalement à la création. Notons, du reste, que l'application de certains raisonnements, pour complexes qu'ils soient en eux-mêmes, commence à pouvoir être rangée dans la catégorie des tâches répétitives et donc informatisables : c'est là le domaine de l'*intelligence artificielle* dont on peut penser qu'elle donnera lieu à de très nombreuses applications aérospatiales.

Cette croissance de l'utilisation de la CAO engendre par elle-même certains problèmes qui suscitent donc des travaux de recherche pour les résoudre. C'est ainsi que pour assurer l'indépendance des données techniques par rapport aux systèmes CAO qui les ont créées, autrement dit, pour pouvoir faire communiquer entre eux ces systèmes *a priori* hétérogènes, l'*Aéropatiale* développe un standard d'échange et de transfert (SET) dont l'*AFNOR* a adopté les premiers éléments à titre de norme expérimentale. D'autres problèmes restent à résoudre : gestion des grandes bases de données techniques ainsi créées, système de communication des données entre partenaires éloignés, associés dans la réalisation d'un grand programme, etc.

Avec cet exemple de la CAO, nous voyons apparaître une classe de recherches qui sont, bien entendu, indispensables à l'industrie aérospatiale mais dont le champ d'application excède largement celle-ci. Dans le cas évoqué ci-dessus, il est clair que beaucoup des problèmes abordés se posent dans des termes très analogues à l'industrie automobile, par exemple. On pourrait trouver bien d'autres exemples, notamment en ce qui concerne la recherche de nouveaux procédés de fabrication ou de contrôle. C'est là un domaine de recherche particulièrement important et il est bon de rappeler à ce propos l'impératif économique qui domine la recherche industrielle : même si la qualité et les performances du produit final doivent rester inchangées, la recherche de nouvelles méthodes de production, plus économiques, doit constituer un objectif prioritaire.

L'AÉROSPATIALE ET EURÊKA

C'est principalement sur ce type d'activités que l'*Aéropatiale* fonde sa contribution au programme *Eurêka*, dont on va dire un mot pour conclure ce bref survol de la recherche à l'*Aéropatiale*.

Rappelons tout d'abord qu'*Eurêka* se propose de stimuler la coopération industrielle européenne dans les technologies de

pointe, en vue d'applications civiles. D'après ce qui a été dit plus haut sur les caractéristiques de la recherche à l'*Aéropatiale*, on concevra, sans peine, qu'elle se soit sentie tout particulièrement désignée pour apporter sa contribution à ce programme. En fait, si de grandes coopérations comme *Airbus* ou *Ariane* vont déjà tout à fait dans le sens des orientations du programme *Eurêka*, il est apparu que celui-ci favorisait le lancement d'opérations d'un type que les structures existantes ne permettaient pas de réaliser. C'est précisément le cas de la conception et de la réalisation d'outils généraux, eux-mêmes outils de conception et de réalisation de systèmes qui peuvent ressortir à des secteurs industriels plus vastes que le seul secteur aérospatial.

Concrètement, quelles ont été les actions entreprises par l'*Aéropatiale* au titre d'*Eurêka* ? On a déjà évoqué plus haut l'accord signé dès l'automne de 1985 avec quatre grandes sociétés européennes du secteur aérospatial. C'est pour l'essentiel dans le cadre de cet accord qu'ont été élaborés les projets soumis aux gestionnaires du programme *Eurêka* et les trois premiers de ces projets traitent bien de thèmes qui intéressent non seulement l'industrie aérospatiale mais encore d'autres branches de l'industrie : projet *Apex* sur l'échange automatique de données techniques, projet *Paradi* sur la gestion automatisée de production, et projet *Mentor* sur la prévention informatisée des dysfonctionnements des systèmes complexes. Ces trois projets ont été formellement approuvés à la conférence ministérielle de Londres, consacrée à *Eurêka*, du 30 juin 1986.

CONCLUSIONS

Au terme de cet exposé, il n'est pas inutile d'en résumer la teneur. On a montré le rôle capital que joue la recherche pour une entreprise travaillant dans les technologies les plus avancées et tiré les conséquences pour la détermination de la politique de recherche de l'entreprise : objectifs des recherches, organisation interne, coopération avec les partenaires français ou étrangers, etc. Quelques exemples des travaux en cours à l'*Aéropatiale* ont été donnés. Souhaitons que le lecteur averti y aura trouvé quelques informations utiles et des éléments lui permettant de mieux apprécier le rôle joué par l'industrie aérospatiale dans les progrès scientifiques, techniques et économiques de la nation.